

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

*GÉNÉRATION TERRESTRE*

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN COMMUNICATION

PAR

FARA FRÉDÉRIC WATARÉ

AVRIL 2015

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout particulièrement à remercier mon directeur de recherche, Jean Décarie qui a accepté de diriger mon mémoire création. Il a su m'apporter ses conseils théoriques et techniques mais également son soutien tout au long de la rédaction et du processus de création.

Mes remerciements vont aussi à mon jury de mémoire, Jean-François Renaud et Dany Beaupré qui ont su dans un premier temps m'orienter et dans un deuxième, me motiver par leurs conseils avisés et leur intérêt lors de mes deux présentations de projet de mémoire.

Enfin, je remercie Grégory Lassere ainsi que les professeurs de l'UQAM pour les échanges que nous avons eus qui ont fait évoluer de façon considérable l'avancement de ce mémoire-crédation.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	iv
RÉSUMÉ.....	v
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I.....	5
1.1 Un modèle planétaire .....	6
1.2 L'art génératif.....	6
1.3 La vie artificielle .....	8
CHAPITRE II.....	12
2.1 Le modèle d'action.....	13
2.2 Le son .....	17
2.3 Le visuel.....	20
2.4 Le développement informatique .....	22
CHAPITRE III .....	25
3.1 La vie artificielle .....	26
3.1.1 Les automates cellulaires .....	26
3.1.2 le génotype .....	29
3.1.3 Le phénotype.....	30
3.2 Théorie de l'évolution et sélection naturelle .....	31
CHAPITRE IV .....	35
4.1 <i>Live</i> .....	35
4.2 La sphère .....	37
4.3 L'évolution de la faune .....	39
4.4 Support de diffusion et installation .....	43
CONCLUSION .....	43
WEBOGRAPHIE.....	47
BIBLIOGRAPHIE .....	48



## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
0.1 Œuvre sans nom de Léa Colomer et Frédéric Wataré.....	3
2.1 Pixel Blanc (extrait) .....	14
2.2 Harpe à tisser de Grégory Lasserre et Anaïs met den Ancxt .....	15
4.1 Interface de <i>Live</i> lors de la composition de génération terrestre.....	36
4.1 Schématisation de la transcription des données en visuel.....	37
4.2 Application du tableau de données sur la sphère : méthode n °1 .....	38
4.3 Application du tableau de données sur la sphère : méthode n °2 .....	39
4.5 Schématisation du génotype d'un individu .....	40
4.6 Schématisation de la transmission des informations entre individus.....	41
4.7 Schématisation d'une mutation chez un individu .....	41

## RÉSUMÉ

Ce document présente ma création nommée *Génération terrestre* qui a pour but d'immerger le spectateur dans un monde inconnu: graphique et sonore évoluant indéfiniment via un assemblage d'algorithmes informatiques.

Dans cet écrit, je souhaite présenter à mon lecteur les systèmes génératifs ainsi que l'intelligence artificielle, à travers les différents principes d'auto-développement. J'expliquerai grâce aux théories sur l'évolution comment simuler un écosystème artificiel. D'un point de vue esthétique, j'aborderai aussi les techniques graphiques et sonores qui amènent le spectateur à plonger dans cette simulation. Je mettrai en avant les différentes variations possibles d'une œuvre générative en fonction du temps. Ma problématique est donc orientée vers l'auto-conception infinie d'une œuvre d'art numérique. La création finale est présentée sur un écran relié à un matériel audio.

Mots-clés : intelligence – artificielle – génératif – infini – écosystème

## INTRODUCTION

En tant qu'artiste, mon imagination a toujours été orientée davantage vers le processus de création d'une œuvre que vers son résultat final. Les techniques utilisées, le type d'instruments, la simplification ou l'optimisation des mécanismes sont tous des sujets qui m'ont sans cesse intéressé. Comme je suis également informaticien, cet intérêt a principalement été porté sur les arts numériques.

Peu à peu, j'en suis venu à me poser la question suivante : l'ordinateur ayant une vitesse de calcul et d'exécution nettement supérieure à celle de l'être humain, comment pourrions-nous l'utiliser afin d'automatiser la génération d'une œuvre d'art?

J'ai donc commencé à automatiser la plupart de mes travaux artistiques. En graphisme, j'ai étudié et mis au point de nombreux « scripts » afin de pouvoir réduire le temps du processus de réalisation, et aussi dans le but d'optimiser le rendu visuel.

Le langage de script est généralement exécuté à partir de fichiers contenant le code source du programme qui sera interprété. Historiquement, il a été créé pour raccourcir le processus traditionnel de développement édition-compilation-édition des liens-exécution propre aux langages compilés. (Wikipédia, 2014)

Par la suite, j'ai porté mon attention sur l'utilisation des automates dans l'art. L'informatique et les algorithmes offrent de multiples possibilités qui permettent de

faire participer l'ordinateur à la composition d'une pièce musicale ou à la génération d'une œuvre visuelle.

En 2012, avec l'aide d'une collègue, j'ai d'ailleurs développé ma première œuvre automatisée. Celle-ci a été conçue à l'aide des logiciels *Max*<sup>1</sup> et *MadMapper*<sup>2</sup>. La procédure utilisée fut plutôt simple. Nous avons d'abord filmé plusieurs séquences vidéos de deux personnages dans des situations et des positions différentes. Ensuite, j'ai découpé une de mes compositions musicales en plusieurs parties : montée, descente, couplet, refrain, ainsi que quelques transitions. Enfin, nous avons disposé dans une pièce six cubes sur lesquels étaient projetées nos vidéos ainsi que des représentations de fractals en mouvement. Chaque cube correspondait à l'« état » d'un automate codé dans le logiciel *Max*. Dans chaque état étaient stockés des vidéos jouées aléatoirement, une partie musicale ainsi que tous les états suivants potentiels.

---

<sup>1</sup> Langage de programmation visuel créé par l'entreprise Cycling '74, conçu pour la musique et le multimédia. Son extension, MSP, qui propose des outils de traitement du signal en temps réel, permet aux utilisateurs de concevoir leurs propres synthétiseurs et effets audios. Max/MSP est un des outils les plus utilisés à travers le monde pour la synthèse sonore.

<sup>2</sup> Application qui permet de projeter des images, vidéos ou textures sur des parties d'un décor.

**Figure 0.1** Œuvre sans nom de Léa Colomer et Frédéric Wataré



La succession de ces états avait permis la génération d'une histoire visuelle et musicale variant dans le temps. Cette œuvre restait cependant plutôt limitée et quelque peu redondante. C'est pourquoi j'avais entrepris de trouver une façon d'augmenter les possibilités de modification de l'aspect visuel par la machine.

Mis à part cette expérience, pour l'aspect sonore, je me suis également intéressé à la récurrence de certaines phrases d'œuvres musicales, et de là, à la possibilité d'automatiser complètement une composition. Loin de moi l'idée de généraliser quoi que ce soit, mais j'ai toujours été fasciné par la simplicité de certains styles musicaux ainsi que par le nombre souvent restreint de variations qu'il y a entre les pièces. Cela ne remet pas en cause le talent de l'artiste, car la qualité d'une œuvre n'est pas nécessairement liée à son caractère original ou absolument unique. De plus, c'est l'écoute d'une multitude de phrases musicales populaires qui m'a poussé à envisager l'automatisation d'une composition.

Depuis de nombreuses années, des artistes s'intéressent à l'algorithmique et aux processus génératifs. Faisant travailler en parallèle l'homme et la machine, ces procédés ont donné naissance à de nouvelles formes d'arts dans de nombreux domaines.

Comme j'ai fait des études en informatique, que j'ai travaillé dans le domaine du design, des jeux vidéos, et que je suis passionné par la musique depuis l'enfance, ce projet me permet vraiment d'associer toutes les compétences que j'ai acquises antérieurement. Depuis 2009, j'évolue dans le domaine de l'animation et de la musique sans jamais avoir réellement eu l'occasion d'unir les deux. De plus, c'est un besoin que j'ai en tant que musicien de pouvoir compter sur des images pour accompagner mes sons. Cela me pousse à vouloir offrir une projection graphique qui permet la visualisation des sons que je crée.

Le but de ce projet est donc la réalisation d'une œuvre visuelle et sonore qui ne s'arrête jamais, qui évolue constamment afin de toujours surprendre le spectateur. Celui-ci assiste à une œuvre animée qui se modifie aléatoirement, sans limite de temps et sans qu'aucune force extérieure ne vienne la réalimenter. Ce système n'offre pas d'interaction. Le spectateur ne peut que choisir son point de vue sur l'univers proposé. Il n'a donc pas d'influence sur l'œuvre.

Les trois questions fondamentales de ce mémoire sont les suivantes :

- Quelle représentation utiliser pour créer une œuvre qui évolue constamment?
- Comment générer un son et un visuel infinis?
- Une œuvre peut-elle évoluer au-delà de l'imagination de son auteur, quand celui-ci attribue une partie du processus de création à la machine?



## CHAPITRE I

### UN ÉCOSYSTÈME ARTIFICIEL

Il paraît important de préciser que, dans une œuvre numérique, les résultats visuels ont une importance primordiale. Ceux-ci vont différer en fonction de ce que l'on veut transmettre au spectateur. Comment piquer sa curiosité? Sera-t-il un spectateur passif ou tentera-t-il de manipuler l'œuvre? Lui laisserons-nous une certaine liberté? L'œuvre doit-elle réagir à son public? Toutes ces questions sont à prendre en considération, car l'œuvre est avant tout destinée aux spectateurs.

Après avoir établi nos intentions, il paraît clair que l'ordinateur est un élément crucial de l'œuvre. La majeure partie du travail de l'artiste sera donc de coder des algorithmes qui vont générer des effets ou objets visuels précis. Par conséquent, il doit trouver un univers offrant une multitude de possibilités. De plus, en cédant une part de création à la machine, l'artiste devient en quelque sorte lui-même « spectateur ». Il est donc nécessaire qu'il s'assure de la cohésion entre l'œuvre et sa pensée et que le résultat visuel obtenu, qu'il soit prédéterminé ou pas, corresponde à ce qu'il souhaite transmettre.



## 1.1 Un modèle planétaire

Dans cette œuvre, le spectateur ne participe pas à la création, mais assiste à l'évolution d'un objet. Cet objet est une sphère qui s'apparente à une planète. Celle-ci évolue constamment. D'un point de vue physique, sa surface se transforme dès sa naissance : les continents se créent, les mers et les océans se forment, les montagnes émergent et les vallées se creusent. Son environnement biologique va aussi changer considérablement. Les espèces naissent, évoluent, se déplacent et meurent, tout cela grâce aux nombreuses interactions avec les autres êtres vivants ainsi que par l'environnement qui les entoure.

Par son évolution visuelle, la sphère intrigue le spectateur. Si une face se modifie devant ses yeux, il peut se demander ce qui se cache de l'autre côté. Suppose-t-il que la partie cachée se fige lorsqu'il ne la voit pas? Qu'elle évolue de la même façon que celle qui est visible, ou d'une façon complètement différente? Le spectateur conserve toute sa liberté de mouvement pour le découvrir.

C'est donc avec cette sphère modulable et la population évolutive qui l'habite que nous allons concevoir une œuvre qui s'étire dans le temps, assez stable pour être accessible, et assez riche pour susciter l'intérêt.

## 1.2 L'art génératif

Comme nous l'avons vu précédemment, l'œuvre visuelle et son comportement sont inspirés d'une planète. Cependant, comme tout système, une planète produit sans cesse de nouveaux composés. Pour cette œuvre, c'est le son qui fournira un certain

nombre d'informations et qui permettra à la planète d'évoluer. Ces deux médias connectés entre eux seront créés à l'aide d'un système génératif.

L'art génératif est une forme artistique généralement numérique se basant sur des algorithmes (c'est-à-dire une suite finie et non ambiguë d'instructions permettant de donner la réponse à un problème) pour concevoir des œuvres se générant elles-mêmes ou non déterminées à l'avance. (Wikipédia, 2013)

Dans ce courant artistique, les artistes s'intéressent à l'algorithme et au processus génératif. Cette nouvelle forme d'art regroupe beaucoup de disciplines comme la musique électronique, le graphisme, la composition algorithmique, l'animation, l'architecture, etc. Le système génératif est principalement utilisé dans les arts sonores et visuels. Dans l'art génératif, l'artiste utilise un système comme un programme auquel il laisse une certaine autonomie. Ce système contribue à la réalisation de l'œuvre d'art.

En dehors de l'étude des caractéristiques et du fonctionnement de l'art génératif, nous allons aussi examiner jusqu'où peut aller la reproduction de la créativité humaine par un ordinateur. Les origines de l'art génératif sont floues, et l'on peut difficilement considérer un seul individu comme étant son fondateur. Cependant, certains artistes peuvent être considérés comme des précurseurs. En effet, John Cage ou Marcel Duchamp utilisaient la notion d'« aléatoire » dans leurs œuvres. Carl André et Paul Morgenson généraient leurs compositions à l'aide de règles mathématiques. Certains désignent également Harold Cohen comme initiateur de l'art génératif. En effet, ce dernier avait conçu une machine capable de simuler les processus cognitifs humains.

Si l'on exclut l'informatique de l'art génératif, on peut même remonter des centaines d'années en arrière. En Europe, au 18<sup>e</sup> siècle, certains musiciens utilisaient parfois aléatoirement des dés pour concevoir leurs compositions. Cette technique était relativement populaire auprès des compositeurs de l'époque, le plus célèbre étant

Mozart, avec sa pièce *Musikalisches Würfelspiel*<sup>3</sup>. L'art génératif demeure tout de même un art « jeune ». Malgré cela, de nombreux artistes, scientifiques ou encore ingénieurs ont traité ce sujet. Nous étudierons en parallèle des artistes cités dans des articles issus de *Generative Art International Conference*<sup>4</sup> pour fixer le cadre et le contexte de ce mémoire. Nous explorerons également les œuvres de John Gribbin, en particulier son livre « Simplicité profonde, le chaos, la complexité et l'émergence de la vie » ainsi que l'article « *Theory of Complexity* »<sup>5</sup> afin de comprendre les différentes lois qui régissent un univers génératif. Les ouvrages traitant du système génératif dans les arts visuels et sonores retiendront donc notre attention dans cette recherche. Nous allons également nous appuyer sur certaines œuvres du mouvement génératif, comme les installations de Grégory Lasserre et Anaïs met den Ancxt, les applications de Scoreless Music ainsi que l'œuvre *Le Pixel Blanc* d'Antoine Schmitt.

### 1.3 La vie artificielle

Notre œuvre, *Génération terrestre*, se génère donc elle-même, elle est complètement autonome. De plus, une forme de vie se crée à l'intérieur de celle-ci, des individus naissent. Au-delà du système génératif, *Génération terrestre* porte en majeure partie sur la vie et l'évolution de ces individus. Cela nous amène à découvrir un domaine interdisciplinaire particulièrement intéressant : la vie artificielle. Le sujet étant très

---

<sup>3</sup> Traduit de l'allemand par « jeu de dés musical ».

<sup>4</sup> Conférence créée en 1998 et organisée par les professeurs Celestino Soddy et Enrica Colabella à l'Université Politecnico di Milano. Elle réunit chaque année des chercheurs et artistes du monde entier, leur permet d'interagir entre eux et de présenter leurs publications ou performances. Cette conférence est très rapidement devenue une référence dans le domaine. Plus d'une centaine de publications sont disponibles gratuitement à l'adresse suivante : <http://www.generativeart.com/>.

<sup>5</sup> MC GUIRE Kevin, « Theory of complexity », 10th International conference Generative Art , Milan, décembre 2007, p. 10

vaste, nous ne nous intéresserons ici qu'aux recherches informatiques et biologiques. Le terme « vie artificielle » a été défini par Christopher Langton en 1989 (Facts, 1997). D'après ce scientifique, la vie artificielle est un domaine de recherche scientifique visant à recréer la vie sur un support différent. Langton avait un but vraiment précis. Il ne voulait pas simuler la vie, mais bien la recréer à l'intérieur d'un ordinateur et pouvoir assister à son évolution. Bien que Langton ait nommé cette discipline à la fin des années 1980, les premières expériences de vie artificielle datent de quelques décennies. Francisco Varela, un des premiers à s'engager dans la voie de la vie artificielle, a introduit un terme basé sur l'absence de contrôle extérieur : « autopoïèse ».

Un système autopoïétique est organisé comme un réseau de processus de production de composants qui (a) régénèrent continuellement par leurs transformations et leurs interactions le réseau qui les a produits, et qui (b) constituent le système en tant qu'unité concrète dans l'espace où il existe, en spécifiant le domaine topologique où il se réalise comme réseau. Il s'ensuit qu'une machine autopoïétique engendre et spécifie continuellement sa propre organisation. Elle accomplit ce processus incessant de remplacement de ses composants, parce qu'elle est continuellement soumise à des perturbations externes, et constamment forcée de compenser ces perturbations. Ainsi, une machine autopoïétique est un système à relations stables dont l'invariant fondamental est sa propre organisation (le réseau de relations qui la définit). (Varela, 1988, p. 45)

Pour résumer, un système autopoïétique est un système qui se construit et se répare lui-même. Celui-ci est maintenu par un certain nombre d'interactions de façon autonome. Cette définition met l'accent sur l'autonomie, mais ne tient pas compte de certains critères. Comme nous l'avons vu précédemment, la reproduction de l'information d'un individu et la sélection naturelle sont essentielles dans l'œuvre

*Génération terrestre* (comme dans la représentation du vivant en général). En fait, la meilleure définition de la vie dans notre œuvre serait celle de Doyne Farmer et d'Alletta Belin, décrite en 1992 et citée par Julio Fernández Ostolaza et Alvaro Moreno Bergareche, comportant les 8 points suivants (Bergareche, 1997, p. 16 - 17):

1. La vie est une structure intégrée dans l'espace-temps;
2. Un être vivant peut se reproduire de manière autonome;
3. Un être vivant stocke des informations, dont sa propre représentation;
4. Un être vivant comporte des réactions chimiques qui lui permettent de se maintenir en vie (métabolisme);
5. Un être vivant interagit avec son environnement;
6. Un être vivant possède des parties interdépendantes;
7. Un être vivant maintient sa stabilité en présence de perturbations (autopoïèse);
8. Un être vivant possède l'habileté d'évoluer.

Dans notre cas, nous nous intéressons particulièrement à l'« *Open-Ended Evolution* » (que l'on pourrait traduire par évolution ouverte ou illimitée) qui est un terme utilisé dans l'*Alife Community*<sup>6</sup>. Un agrégé supérieur de recherche de l'Université de Londres nommé Tim Taylor, dans un article sur l'*Open-Ended Evolution*, nous explique que ce terme réfère à la dynamique de l'évolution à long terme dans les systèmes évolutifs (Taylor, 2014). C'est-à-dire une évolution qui ne s'arrête jamais et qui crée constamment de la nouveauté. Afin de comprendre et d'expliquer les différents choix effectués en ce qui a trait à la vie artificielle dans *Génération terrestre*, nous étudierons donc les écrits et travaux des auteurs considérés Karl Sims, Julio Fernández Ostolaza, Alvaro Moreno Bergareche, John von Newman et Christopher Langton, qui traitent de la vie artificielle et des automates cellulaires.

---

<sup>6</sup> Nom donné à la communauté de la vie artificielle.



L'œuvre *Génération terrestre* représente l'évolution d'un monde artificiel et son organisation. Elle allie le son et l'image, et est basée sur le système génératif ainsi que sur la vie artificielle afin de pouvoir constamment recréer de la nouveauté. Dans ce projet, le spectateur assiste à l'évolution d'une planète. Le modèle est complètement autonome et infini néanmoins une partie de la transformation progressive de l'œuvre reste prédéterminée par l'artiste. Ce mémoire va donc traiter de la vie artificielle et du chaos à travers l'art génératif et ses différents systèmes.

## CHAPITRE II

### LA COMPLEXITÉ D'UN MONDE AUTONOME

Dans une œuvre générative, l'artiste cède une partie de la conception à l'ordinateur et les résultats ne peuvent être entièrement prévisibles. L'œuvre peut donc ne pas correspondre aux attentes du créateur. Par conséquent, l'artiste se doit de guider son système vers les résultats souhaités. Ainsi, en imposant certaines limites au système génératif, l'artiste s'assure de conserver l'aspect de l'œuvre qu'il souhaite (un bon exemple est lorsque nous imposons des limites maximales et minimales à la génération de nombres aléatoires). L'artiste qui utilise un système génératif crée, initialise et modifie les limites de son œuvre en fonction des résultats projetés. Il est intéressant d'ailleurs de se demander à quel point on peut prédeterminer certains résultats d'une œuvre tout en préservant la multiplicité des solutions possibles. C'est grâce à de nombreux tests, et en accommodant nos calculs en fonction des modes d'appropriation que nous pouvons mieux répondre à cette question. L'artiste doit donc avoir quelques notions en mathématiques, en langage informatique et en intelligence artificielle. Il doit également pouvoir approfondir et tester différents algorithmes de programmation s'il veut créer une œuvre générative. Bien sûr, le système génératif n'est qu'un outil créé par le programmeur, et bien que sa création soit complexe, son utilisation peut être très intuitive.

Pour cette recherche, le son, le visuel ainsi que le modèle d'action sont à la base de mon expérimentation. Ils ont fait évoluer parallèlement le schéma du projet.



## 2.1 Le modèle d'action

Au sein de ce mouvement artistique qu'est le « génératif », il faut savoir qu'une grande partie des œuvres dépend du système. Contrairement aux arts traditionnels comme la sculpture ou la peinture, l'artiste, bien qu'il programme la totalité de ses algorithmes, cède une partie du processus de création à une autre entité, en l'occurrence ici, l'ordinateur. Voici, ci-dessous, trois exemples d'œuvres génératives qui ont permis de faire évoluer ma création.

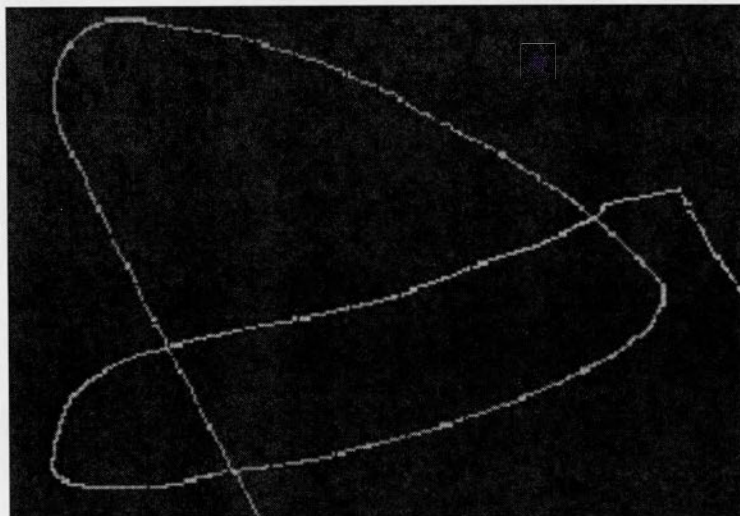
### Pixel Blanc<sup>7</sup> :

Un bon exemple d'œuvre du mouvement de l'art génératif est *Le Pixel Blanc* d'Antoine Schmitt. Schmitt est un artiste-plasticien-programmeur travaillant dans le domaine de l'intelligence artificielle et des interactions personne-machine (Wikipédia, 2014) La plupart de ses œuvres, comme *CYNETArt* ou *Medi@terra*, sont basées sur le hasard, le mouvement et les formes. Dans *Le Pixel Blanc*, le spectateur suit le déplacement d'un pixel blanc (d'où le titre) sur un écran. Ce pixel se déplace dans un espace délimité par un rectangle. Sa vitesse ainsi que sa direction sont aléatoires. Bien que les mouvements du pixel soient la plupart du temps fluides, on constate parfois des changements de direction ou des accélérations inattendues. Dans cette œuvre, il n'y a aucune interaction avec le spectateur. Ce dernier regarde la trace que laisse le pixel derrière lui : blanche sur fond noir. Contrairement à *Génération terrestre*, cette œuvre est plutôt simple. On peut en déduire que l'artiste a voulu mettre l'accent sur le mouvement et l'algorithme de l'œuvre plutôt que sur la qualité esthétique. En effet, l'image est neutre, et il n'y a aucune musique. Cependant, *Le Pixel Blanc* représente très bien l'utilisation d'un visuel qui se modifie constamment et dont la durée est infinie, tout comme le projet de ce mémoire.

---

<sup>7</sup> <http://www.gratin.org/as/pixel/>.

**Figure 2.1 Pixel Blanc (extrait)**



Harpe à tisser<sup>8</sup> :

Grégory Lasserre et Anaïs met den Ancxt sont un couple travaillant dans le domaine de l'art interactif, de l'architecture et de la musique. L'application ludique *Harpe à tisser* représente très bien la génération d'un visuel correspondant à un son. En effet, dans cette installation, le spectateur joue des notes de musique sur ce qui ressemble à une harpe. Chaque note jouée fait apparaître des phrases de différentes couleurs se déplaçant de façon circulaire et disparaissant en tourbillonnant au bout d'un certain temps. Lasserre nous explique :

Le principe est simple, chaque impulsion de code génère une note sur un son différent, chaque son/note est relié à une suite de mots, elle-même reliée à une couleur : aléatoire humaine + aléatoire logicielle. Il y a en amont des choix de sons, des écritures de mots. Tout le reste n'est que travail de programmation,

<sup>8</sup> [http://www.scenocosme.com/PDF/harpe\\_fr.pdf](http://www.scenocosme.com/PDF/harpe_fr.pdf).

d'électronique, de fabrication et de mise en scène. (Échange de courriels avec Grégory Lasserre, 2013)

Contrairement au *Pixel Blanc*, l'intérêt de cette œuvre ne vient pas de l'algorithme de mouvement autonome, mais de la génération d'un visuel harmonisé à un son.

**Figure 2.2** Harpe à tisser de Grégory Lasserre et Anaïs met den Ancxt



Mozart to infinity<sup>9</sup> :

*Mozart To Infinity* est une application mobile réalisée par une personne ayant pour pseudonyme « *scorelessmusic* », sur Internet. Elle a pour but de générer de la musique classique indéfiniment. Je n'ai pas réussi à trouver le fonctionnement exact, mais après plusieurs recherches sur des forums musicaux, il en ressort que l'application utilise le hasard jumelé à certaines règles et structures propres à la musique classique. Il en résulte un produit unique : flux continu de piano classique. Le fonctionnement musical expliqué comme tel ressemble beaucoup à celui de *Génération terrestre*. En effet, l'aléatoire est à la base de l'œuvre. Ce sont des règles sur la tonalité et le rythme ainsi que des suites logiques d'enchaînements qui forment un morceau infini de musique classique.

J'ai choisi ces trois exemples, car ils m'ont inspiré dans ma réflexion. Il existe une multitude de systèmes différents dans l'art génératif. Ils peuvent être simples, comme *Le Pixel Blanc*, mais parfois très complexes. Le terme « complexe » ici n'est pas utilisé dans le sens de « compliqué », mais parce qu'il faut avoir recours au réductionnisme pour analyser ce genre de systèmes. Dit autrement, il faut en démanteler les composants élémentaires. Ces systèmes sont formés d'une multitude de petites entités qui interagissent entre elles et qui peuvent s'autoorganiser. Ces entités (ou composants) sont dans notre cas des fonctions. Plus ces fonctions sont nombreuses, plus le résultat risque d'être imprévisible. Seul un spectateur accumulant les expériences pourrait anticiper certains résultats.

Dans l'œuvre *Génération terrestre*, nous avons défini dans un premier temps l'architecture du système ainsi que les règles à lui appliquer. Cela implique de fixer sa dimension, le nombre d'états, les différents chemins possibles ainsi que les lois

---

<sup>9</sup> [http://scorelessmusic.com/mozart/Scoreless\\_\\_Mozart\\_To\\_Infinity.html](http://scorelessmusic.com/mozart/Scoreless__Mozart_To_Infinity.html)  
<https://forums.gamesalad.com/discussion/4108/mozart-to-infinity-approved>.



régissant son évolution. Celles-ci peuvent être basées sur des processus relevant de probabilités, ou bien sur des fonctions mathématiques précises. Pour illustrer nos propos, prenons le système de notre sphère. Celui-ci est en fait un automate à quatre états. Le premier correspond à la phase de développement de la planète. Durant cette période, des montagnes vont se former à la surface et ainsi faire grossir la taille de la sphère. Une fois que cette dernière a atteint une certaine taille, nous entrons dans le deuxième état. Celui-ci correspond à l'apparition de l'eau. Lorsque le volume d'eau défini par l'artiste est atteint l'état trois se déclenche. À partir de ce moment-là notre système va osciller entre les états trois et quatre en fonction de différentes règles liées aux quantités d'eau, de terre et de végétation présentes.

Dans les systèmes génératifs, le choix de la méthode peut être fait de façon arbitraire, ou après l'analyse des effets obtenus. Ce choix peut éventuellement s'effectuer plusieurs fois si des automates différents sont nécessaires. Une fois ce modèle mis en place, notre système génératif est défini.

Ce mémoire regroupe trois disciplines importantes dans le domaine des médias et de la communication : le son, l'image et le développement informatique.

## 2.2 Le son

La musique est l'un des médias ayant une influence considérable sur notre monde actuel. Dans *Génération terrestre*, elle joue un rôle essentiel. Nous avons vu précédemment que le modèle visuel est une sphère modulable sur laquelle se crée une vie artificielle. Le son se doit donc d'innover indéfiniment tout en gardant chaque mesure cohérente, audible et proportionnelle aux précédentes. Un tel système ne peut s'établir sans certaines connaissances musicales de base. Comme notre algorithme

repose sur un système aléatoire, il faut un ensemble de règles pour le contrôler. Chacune des notes jouées aura une influence sur le paysage de l'œuvre, la musique va générer et modifier celui-ci progressivement.

Avant d'entrer dans des explications détaillées sur la génération de la musique, il convient de présenter certaines règles musicales. Nous avons évoqué dans l'introduction la « musique populaire ». Cette expression, bien que très utilisée dans le langage courant, reste imprécise. En effet, les écrivains François Coadou, Stéphanie Loncle et Olivier Maillart abordent ce point de manière critique. En premier lieu, le terme « populaire » est différent d'une époque à une autre. Même si on utilisait déjà l'expression « musique populaire » à la Renaissance, il serait difficile de trouver des points communs entre la musique populaire de cette période et celle que l'on désigne ainsi aujourd'hui. En second lieu, les auteurs précisent qu'une classe de musique est populaire au sein d'un certain standard de goût, et une autre classe est considérée comme populaire par ceux-là dont le goût ou le degré d'éducation musicale s'accordent le plus avec elle (François Coadou, 2012, p. 154). L'écrivain William Weber insiste même sur le fait que l'expression « musique populaire » a plusieurs significations différentes et qu'il serait plus exact d'utiliser « musique générale » (Weber, 2008, p. 36).

La définition de musique générale allant tout de même différer entre les individus, je me dois de préciser les règles appliquées afin que la composition générée corresponde à l'expression sonore de ma pensée :

- Les notes de musique sont jouées à partir de la gamme diatonique de *do* (*do, ré, mi, fa, sol, la, si*);
- Les mesures ont 4 temps;
- La durée d'une note n'est pas inférieure à  $\frac{1}{4}$  de temps;
- Le tempo est compris entre 60 et 360 bpm.

Après avoir établi ces quelques normes simples, nous pouvons maintenant entrer dans l'explication détaillée du fonctionnement de notre système.

Tout d'abord, durant la phase d'initiation, un algorithme détermine la tonalité qu'aura le morceau durant un certain temps. Celui-ci procède de la façon suivante. En premier lieu, il sélectionne au hasard 4 accords mineurs de la gamme. Une fois ceux-ci sélectionnés, l'algorithme applique une transition maximale et minimale de 6 demi-tons. Cette technique permet d'obtenir une harmonie tonale composée uniquement de consonances. Une consonance correspond à ce que l'on appelle la justesse d'intonation. C'est une combinaison de sons, tels un accord ou un intervalle, perçue comme agréable à l'oreille (Chailley, 1977, p. 17). Cette étape permet de réduire les risques d'incohérence. Les 4 accords sélectionnés sont utilisés par la suite dans 4 catégories différentes : les accords principaux, la basse, l'accompagnement et la mélodie. Chaque catégorie possède une spécificité et un rythme qui lui sont propres. Les 3 notes des accords principaux sont jouées simultanément durant la phase d'initiation à intervalles de temps réguliers ou semi-réguliers (l'accord a un pourcentage de chance d'être remplacé par un silence de la même durée) et peuvent durer  $\frac{1}{2}$  temps, 1 temps ou 2 temps. La mélodie, quant à elle, va jouer une seule note à la hauteur de l'accord en cours d'une durée variant entre  $\frac{1}{4}$  de temps et 1 temps. Comme pour les accords principaux, il y a un pourcentage de chance qu'une note soit remplacée par un silence. La basse a le même fonctionnement que la mélodie, à la différence qu'une octave est soustraite à la hauteur initiale et que la durée d'une note ne peut être que de  $\frac{1}{2}$  temps ou de 1 temps. Le pourcentage de silence est également beaucoup plus faible. Dans ces 3 catégories, l'intensité, qui correspond à la force d'une note, varie aléatoirement afin de donner un caractère plus « humain » à cette musique générée par ordinateur. Enfin, les accompagnements ne sont qu'une combinaison des 3 premières catégories à laquelle est appliquée une intensité beaucoup plus faible.



Un algorithme global va ensuite faire jouer entre elles les différentes catégories de même durée en fonctionnant comme un automate fini. En effet, le morceau s'enchaîne indéfiniment, passant d'un état à un autre par des transitions. Un état correspond au nombre de catégories jouées en même temps. Le tout s'enchaîne avec un principe de montée/descente, couplet/refrain et d'autres variations plus aléatoires. Les transitions d'un état à un autre peuvent faire varier le comportement de la musique. Certaines feront varier le nombre de battements par minute (bpm), la hauteur, la tonalité des accords référents ou d'autres caractéristiques musicales.

C'est par un tel processus que la musique est générée dans *Génération terrestre*. Les différentes informations musicales que nous pouvons récupérer de chaque son créé vont permettre de faire naître le visuel. Les paramètres sonores seront analysés et utilisés pour alimenter une partie du système génératif. C'est en fonction de ceux-ci que la vie artificielle sur la sphère va évoluer.

### 2.3 Le visuel

Avec un système génératif, les possibilités d'évolution de l'œuvre sont très importantes. Tous les visuels sont générés grâce à des calculs mathématiques effectués par le logiciel *Processing*<sup>10</sup>. Nous avons « la planète » qui, bien que de taille, de forme et de couleur changeantes, demeure toujours présente. Celle-ci est conçue à partir d'un double tableau d'entiers, dont le format définit la hauteur et la largeur de la sphère. Chaque case correspond visuellement à un cube, et sa disposition sur l'axe  $x$   $y$   $z$  ainsi que son orientation dépendent de sa position à l'intérieur du double tableau. Nous entrerons plus en détail dans les stratégies de codage dans la

---

<sup>10</sup> Logiciel de programmation particulièrement adapté à la création plastique et graphique interactive.

dernière partie, et expliquerons comment cette association double tableau/sphère permet de modifier chaque pixel (ou *carré* de pixel, selon la résolution).

Dans le but d'obtenir une suite d'évènements cohérents, des algorithmes permettent l'association des cubes afin de générer différents paysages naturels : montagnes, vallées, chutes d'eau, etc. Afin d'expliquer le terme « cohérence » cité plus haut, prenons un exemple simple : si notre système déclenche l'apparition d'une vallée à une position précise sur notre sphère et que cet endroit se trouve au milieu d'une mer, notre algorithme va en déduire qu'il est impossible de creuser en dessous de ce niveau et il va réagir en conséquence.

Ces évènements d'importance variable ont leur déclenchement lié à certaines caractéristiques de la musique.

Les créatures terrestres sont également formées par des cubes, ou par des ensembles de cubes. Leur taille, forme, couleur et façon de se déplacer vont dépendre des informations qui leur sont associées. Les caractères observables (phénotypes) sont la traduction d'informations propres à chacun des individus (génotypes). Ce point, ainsi que les définitions de génotype et phénotype étant expliqués en détail par la suite, nous ne nous étendrons pas davantage sur ces sujets pour l'instant.

Grâce à de tels systèmes, on peut obtenir des visuels très complexes à partir d'algorithmes simples. Ils peuvent nous fournir une multiplicité de résultats sans faire appel à l'aléatoire, mais à une suite d'évènements encadrés par un ensemble de règles établies<sup>11</sup>. Cependant, le spectateur va-t-il percevoir ce visuel? Et surtout, va-t-il y trouver de l'intérêt?

En effet, tout comme la consonance en musique est agréable à l'oreille, il est important que cette œuvre soit également agréable à regarder. Pour cela, nous devons

---

<sup>11</sup> Exemple : voir l'explication de l'œuvre *Game of Life*, page 27.

sortir des algorithmes, prendre du recul et nous demander quel est l'attrait sur le plan esthétique. Cette réflexion pertinente m'a été adressée lors d'une des présentations de mon projet. À l'époque, mon œuvre était trop proche de la simulation et ne considérait pas assez la réaction du spectateur. À partir de ce moment, l'œuvre a été pensée de façon plus immersive, et en exploitant davantage son caractère évolutif. Dans un premier temps, la sphère ainsi que sa végétation ont été assombries dans le but d'en faire ressortir les individus. On a ensuite ajouté à ceux-ci des propriétés émissives, toujours afin de mieux les distinguer sur la sphère. C'est-à-dire que nous avons rajouté de la lumière à leur représentation, indépendamment de l'éclairage de la scène. Ce choix d'entités lumineuses porte l'attention sur leurs mouvements, force le spectateur à focaliser sur des points précis et le plonge plus profondément dans l'œuvre. Aussi, trois projecteurs lumineux ont été placés autour de la sphère. Le premier est fixe, les deux autres sont mobiles et se déplacent autour de la planète afin d'en accentuer le mouvement.

#### 2.4 Le développement informatique

La programmation de l'œuvre *Génération terrestre* se fait en trois étapes. La première consiste à définir l'environnement le mieux adapté pour développer le projet, et cela concerne les supports de diffusion. Dans notre cas, cette étape fut déterminante. En effet, la question du meilleur support de diffusion pour une œuvre comme *Génération terrestre* fut très souvent posée. Dans un premier temps, ce sont les tablettes tactiles et les téléphones intelligents qui furent considérés. Comme je connais bien les logiciels *Flash* et *ActionScript*, ce sont naturellement ces supports qui me semblaient être les plus appropriés. Malheureusement, cette décision s'est avérée ne pas être la bonne. Lorsque j'étais en phase d'élaboration, l'idée de mon

projet a évolué. J'ai décidé d'orienter celui-ci vers l'aspect « contemplation » plutôt que celui de « jeux ». En supprimant l'interactivité et en développant la génération musicale, j'ai jugé préférable de tout recommencer et de créer l'œuvre avec *Processing*. Ce logiciel est vraiment bien adapté aux créations artistiques et une véritable communauté s'est créée autour de celui-ci. Ainsi, à l'aide de cette communauté et d'auteurs comme Daniel Shiffman (auteur de deux ouvrages sur *Processing*), il m'est plus facile à présent de réaliser mon œuvre comme je l'imagine vraiment.

La programmation avec *Processing* a été produite en deux étapes : le son et l'image. Le son correspondant à l'énergie nécessaire à la génération du visuel, il était logique de commencer par là. Un premier questionnement est alors apparu : le format du son. En fonction de la complexité et de l'importance du visuel, je me retrouvais devant certaines possibilités, plus ou moins avantageuses. La première envisagée a été la synthèse sonore. La synthèse sonore est un ensemble de techniques, amenant à la génération de signaux sonores à partir d'un ordinateur (Road, 2007, p. 347). Celle-ci permet de créer des objets sonores et de récupérer leur information pour générer un visuel.

La seconde possibilité était l'utilisation de fichiers MP3 ou MIDI créés à partir d'un logiciel de son ou grâce aux bibliothèques<sup>12</sup> intégrées dans *Processing*. Cette deuxième méthode nécessite d'avoir en parallèle un tableau de données correspondant à chaque son. Comme pour la première possibilité, ces informations permettent de faire fonctionner le système génératif. Comme j'utilisais déjà *Processing*, j'ai choisi la solution la plus accessible et me suis orienté vers l'une de ses bibliothèques nommée *SoundCipher*. Celle-ci crée des sons à l'aide de fichiers MIDI qui possèdent un ensemble de fonctions prédéfinies. Cependant, la qualité

---

<sup>12</sup> Collection de fonctions utilisables par les programmeurs.

sonore était loin d'être optimale et j'ai dû recourir à des manœuvres assez complexes pour obtenir la sonorité voulue. Enfin, à l'aide de deux autres bibliothèques de *Processing*, « netP5 » et « oscP5 », j'ai pu connecter *Processing* à un logiciel de MAO<sup>13</sup> que j'utilise depuis quelques années maintenant, *Live*<sup>14</sup>. Le contrôle de ce dernier diffère cependant des bibliothèques de *Processing*, et la documentation sur la gestion des messages entre les deux programmes est quasi inexistante. Fort heureusement, le résultat actuel me permet de déclencher des sons MIDI de qualité, il est très satisfaisant et me pousse à exploiter au maximum la capacité de générer de la musique avec ces deux logiciels.

Enfin, la troisième étape est la partie la plus importante de la conception. Elle consiste à retranscrire ni plus ni moins le modèle d'action créé en amont nécessaire à la génération du son et de l'image. Ce dernier permet d'associer fonction, entité et valeur afin de programmer l'œuvre. Cette étape sert également à analyser l'évolution du système, à constater des comportements non prévus, et découvrir des possibilités que je n'avais pas envisagées.

---

<sup>13</sup> Musique assistée par ordinateur.

<sup>14</sup> Logiciel professionnel créé par Ableton permettant de contrôler des instruments de musique électronique. Il peut être utilisé soit en composition soit en direct.



### CHAPITRE III

#### UNE ÉVOLUTION ILLIMITÉE (OPEN-ENDED EVOLUTION)

Ce projet est basé essentiellement sur un système génératif qui crée l'évolution d'une planète dans le temps. Chacune de ses étapes de création est régie par des règles qui lui sont propres.

Après avoir expliqué en détail la génération du son ainsi que la formation de l'environnement visuel, nous allons nous intéresser à ce qui fait que cette œuvre entre dans la catégorie de « l'évolution illimitée ». Cette troisième partie est essentiellement basée sur la création d'un monde artificiel. C'est au cours de l'œuvre que se forme un microorganisme qui va s'autoorganiser et évoluer en fonction du temps, du paysage et des événements. Dans cette partie, chaque étape dépendra de la précédente, et ce, indéfiniment. Certaines règles seront appliquées afin qu'une génération diffère de son « parent ». Cette population sera régie par des principes simples comme le taux de natalité, le taux de mortalité ou encore la surpopulation. C'est l'ensemble de ces règles élémentaires qui produira un système complexe. Un exemple très représentatif du fonctionnement de notre œuvre est le célèbre automate créé en 1970 par le mathématicien anglais John Horton Conway, intitulé *Game of Life* (Martin, 1970, p 120 - 123). Dans celui-ci, le spectateur définit uniquement l'état initial des cellules. Par la suite, le programme fonctionne par lui-même, les générations se suivent, les cellules naissent, meurent et évoluent de façon totalement autonome. Dans notre cas, avec des règles simples, on peut faire interagir les entités entre elles et leur environnement pour simuler la théorie de l'évolution de Darwin,

qui a émis la célèbre hypothèse suivante : Toutes les espèces vivantes descendent d'un seul ou quelques ancêtres communs. C'est le processus connu sous le nom de « sélection naturelle » qui a permis la variation de leurs caractères au cours du temps. (Darwin, 2009, p. 217)

D'après l'anatomiste britannique Thomas Henry Huxley, les caractères héréditaires se transmettent de génération en génération. Lors de la transmission, il peut y avoir une légère variation d'un parent à son enfant. Cet enchaînement va entraîner plusieurs séries de reproductions. Certains individus vont survivre et se reproduire, d'autres vont s'éteindre à cause d'autres espèces ou du paysage changeant qui les entoure. Huxley en a déduit que ceux qui survivent sont les plus adaptés à leur environnement (Gribbin, 2006, p. 253). Il est évident que l'expérience dans l'œuvre *Génération terrestre* se fera avec un nombre d'espèces limité, et avec des variations différentes que celles de la vie telle que nous la connaissons. Néanmoins, nous allons l'appliquer à une partie du système génératif et ainsi créer ce qu'on appelle la vie artificielle.

### 3.1 La vie artificielle

#### 3.1.1 Les automates cellulaires

Bien que le terme ne soit pas encore défini à l'époque, le concept de « vie artificielle » est apparu avec John von Newman et les automates cellulaires.

Les automates cellulaires sont des réseaux d'automates simples, connectés localement, qui produisent une sortie à partir d'une entrée, en modifiant leur état pendant le processus selon une fonction de transition. (Bergareche, 1997, p. 38)



L'évolution au cours du temps d'un automate cellulaire se fait grâce à un ensemble de règles qui permettent à ses cellules de passer d'un état à un autre. Le « jeu de la vie », évoqué précédemment, est probablement le plus connu de tous les automates cellulaires.

*Game of Life* <sup>15</sup>:

Dans cette œuvre, hormis pour établir l'état initial des cellules, aucune intervention humaine n'est nécessaire. Le jeu est complètement autonome. Les générations se succèdent, les cellules naissent et meurent en fonction de règles simples (Martin, 1970, p. 120 - 123). Visuellement, le jeu est représenté sous la forme d'une grille à deux dimensions de taille infinie. Chaque cellule possède deux états possibles : « vivant » ou « mort ». Chacune d'elles est entourée de 8 « voisins ». Les règles de l'automate sont les suivantes :

- Toute cellule vivante possédant moins de 2 voisins vivants meurt, à cause d'une sous-population;
- Toute cellule vivante possédant plus de 3 voisins vivants meurt, à cause d'une surpopulation;
- Toute cellule vivante possédant 2 ou 3 voisins vivants reste en vie;
- Toute cellule morte possédant exactement 3 voisins vivants devient vivante, elle naît.

Conway a par ailleurs fait évoluer les automates cellulaires de John Von Newman en utilisant les voisins aux diagonales d'une cellule, alors que ce dernier ne considérait que le nord, le sud, l'est et l'ouest comme interactions possibles.

Bien qu'un système comme celui-ci possède des interactions entre entités simples, le résultat final peut s'avérer être extrêmement complexe. Tout dépend de l'état initial

---

<sup>15</sup> <http://www.ibiblio.org/lifepatterns/october1970.html>

des cellules, qui a une importance capitale dans l'évolution de l'œuvre. Ainsi, on obtient différentes représentations visuelles en mouvement (motifs, oscillations, etc.). Bien que plutôt simple, cet automate cellulaire reste très intéressant. L'étude des différentes représentations permet de classer ces automates. En 1983, un scientifique nommé Stephan Wolfram a proposé de classer les automates cellulaires en 4 classes selon l'organisation vers laquelle ils tendent après avoir été initialisés aléatoirement (Andrew, 2011, p. 63).

- Classe 1 : Après quelques itérations, toutes les cellules se retrouvent au même état.
- Classe 2 : Après quelques itérations, une structure périodique apparaît.
- Classe 3 : Le système possède un comportement de type chaotique qui ne va jamais se stabiliser.
- Classe 4 : La structure est capable de se maintenir, voire reproduire sa configuration (identique à l'autopoïèse de Francisco Varela). *Game of Life* ainsi que notre œuvre, *Génération terrestre*, s'insèrent dans cette 4<sup>e</sup> classe.

Un autre automate reconnu dans le domaine de la vie artificielle est celui de Christopher Langton nommé *Boucle de Langton*. Cet automate est autoreproducteur, c'est-à-dire qu'il va reproduire continuellement le même visuel avec une exécution identique (Langton, 1984, p. 135 - 144). Il s'insère également dans la classe 4 décrite par Wolfram.

Bien que ces deux modèles d'automates soient remarquables, ils ne correspondent pas à notre objectif, qui est d'obtenir une évolution infinie des objets présents dans l'œuvre et le constat par le spectateur d'un perpétuel renouvellement visuel et sonore.

La nouveauté dans *Génération terrestre* est produite grâce à l'évolution de ses êtres vivants. Ceux-ci possèdent deux propriétés qui leur sont propres et qui les rendent, au bout d'un certain nombre de générations, uniques. En premier lieu, l'aspect

informationnel appelé le *génotype*, puis l'aspect dynamique, le *phénotype*.  
Examinons de plus près ces deux aspects.

### 3.1.2 le génotype

Le génotype est l'ensemble ou une partie donnée de la composition/information génétique d'un individu (Wikipédia, 2015). Dans *Génération terrestre*, l'information d'un individu est contenue dans un tableau contenant 4 états. Le chiffre « 4 » avait été choisi initialement en raison des quatre composants de l'ADN : l'adénine, la thymine, la guanine et la cytosine (A, T, G, C), sans en avoir une définition aussi précise. Un 5<sup>e</sup> état a cependant été ajouté pour l'initialisation de l'œuvre. Ce choix d'ajout d'un état est pour marquer le fait que lorsque l'œuvre se lance, les caractéristiques de chaque individu sont insignifiantes. C'est sur leurs évolutions futures que doit se focaliser le spectateur. En effet, au lancement du programme, toutes les cases du génotype d'un individu sont à l'état 5. Lors d'une reproduction entre deux individus, il est possible qu'une mutation se produise. Cette mutation modifiera l'information d'une case du tableau à un chiffre entier aléatoire entre 0 et 3 inclus, et changera ainsi le code génétique de l'individu. Par la suite, si ce dernier se reproduit, il aura une chance (en fonction de l'algorithme de transmission des gènes) de transmettre cette mutation à sa progéniture. Ainsi, au bout de quelques générations, tous les individus posséderont leur propre génotype.

### 3.1.3 Le phénotype

Le phénotype est l'ensemble des caractères observables d'un individu (Wikipédia, 2015). Il est la transcription du génotype en caractères physiques. Chaque case du tableau d'information transmise va correspondre à une caractéristique d'un être. Ces caractéristiques seront représentées dans l'œuvre de différentes façons. Ceci reprend la dualité génotype/phénotype des « biomorphes » de Richard Dawkins. Dawkins est un biologiste et un éthologiste britannique, vulgarisateur et théoricien de l'évolution, membre de la *Royal Society* (Wikipédia, 2015). Ce dernier a conçu un programme nommé *The Blind WatchMaker* qui permet l'engendrement de formes biologiques à partir d'un ensemble de règles se présentant pour l'utilisateur comme des valeurs d'un « génome ». Chaque génome peut prendre une série de valeurs et assure une fonction définie dans la configuration future du biomorphe considéré (Bergareche, 1997, p. 57). Tout d'abord, pour la représentation visuelle, chaque case ou association de cases du génotype va définir la taille de l'individu, sa couleur, le nombre de parties de son corps, sa vitesse ainsi que son mode de déplacement, sa supériorité par rapport aux autres, sa capacité à se nourrir ainsi que son espérance de vie. Certaines de ces caractéristiques ont d'ailleurs inspiré un chercheur en infographie et artiste nommé Karl Sims. Ce dernier est l'auteur d'œuvres et d'articles passionnants sur la vie artificielle, en particulier sur les créatures virtuelles (*Evolving Virtual Creatures*). Il représentait ces créatures en traduisant les informations fournies par le génotype en nombre de nœuds et de connexions. Chaque nœud possède comme informations la taille de la créature ainsi que le nombre de liaisons avec les autres parties de son corps. De cette façon, on peut obtenir des morphologies tout à fait particulières (Sims, 1994, p. 15 - 22). Nous allons examiner plus en détail les travaux de Karl Sims dans la prochaine partie en traitant de la sélection naturelle. Toutefois, malgré cette multitude de possibilités morphologiques et comportementales pour nos créatures



terrestres, dans le cadre d'une représentation par ordinateur, j'ai opté pour une dualité génotype/phénotype réduite par rapport à ce que nous pourrions trouver dans notre propre environnement biologique. L'œuvre est bien basée sur l'évolution, mais elle est destinée avant tout à un public. Il est donc primordial que chaque modification d'un individu soit perceptible pour le spectateur. Nous avons vu dans la partie 2.2 que le visuel avait été conçu pour faire ressortir nos créatures vivantes. Nous découvrons maintenant que c'est en fait les différentes caractéristiques de chaque individu qui se doivent d'être visibles et reconnaissables. Voilà pourquoi, dans notre expérimentation, le tableau représentant le génotype n'excède pas la taille de huit cases.

### 3.2 Théorie de l'évolution et sélection naturelle

Avant que la science ne s'intéresse à la théorie de l'évolution, la Bible avait imposé trois termes pour l'évolution des espèces : le créationnisme, le littéralisme et le fixisme. Ce dernier est en désaccord total avec ce que nous étudions aujourd'hui, car il part du principe que les formes des espèces ne peuvent pas changer (Hoquet, 2007, p. 106). L'évolutionnisme s'oppose ainsi au fixisme, qui postule que toutes les espèces vivantes ont été créées avec les caractéristiques qu'elles ont actuellement. Il y a eu une multitude de théories de l'évolution avant d'en arriver à la définition que nous avons aujourd'hui. L'un des premiers à avoir émis une hypothèse sur le sujet est Georges-Louis de Buffon, avec sa théorie de la dégénérescence. Pour ce naturaliste de l'époque des Lumières, une multitude d'espèces ont été créées par génération spontanée et ont changé, s'altérant ou se perfectionnant selon les circonstances (Buican, 1989, p. 26). C'est ce qu'il a soutenu avec son texte *L'âne*, où il décrit l'animal comme étant une dégénérescence du cheval.



[...] l'on pourrait attribuer les légères différences qui se trouvent entre ces deux animaux à l'influence très ancienne du climat, de la nourriture, et à la succession fortuite de plusieurs générations de petits chevaux sauvages à demi dégénérés, qui peu à peu auraient encore dégénéré davantage, se seraient ensuite dégradés autant qu'il est possible, et auraient à la fin produit à nos yeux une espèce nouvelle constante [...] (Buffon, 1828, p. 133).

Même si cette hypothèse nous apparaît quelque peu comme une absurdité aujourd'hui, elle lui a tout de même permis de remarquer les innombrables ressemblances entre les êtres vivants et, surtout, entre les individus d'une même espèce. Plus tard, Jean-Baptiste de Lamarck, inspiré par Buffon, avance la théorie que tous les êtres vivants actuels dérivent d'êtres primaires dont l'emploi ou non d'un organe le fait se développer ou disparaître, et que ces changements acquis par le corps des êtres vivants pourraient se transmettre à leur descendance (Buican, 1989, p. 49). Cependant, il parle uniquement de l'hérédité des caractères acquis. Charles Darwin, également influencé par Buffon, ajoute à cette théorie des acquis la sélection naturelle. C'est-à-dire qu'il existe aussi une part de hasard transmissible à la descendance et que, par conséquent, les caractères les plus adaptables à l'environnement auront une descendance plus importante (Buican, 1989, p. 74 - 76). Par la suite, seule la théorie de la sélection naturelle est conservée. Celle-ci peut se résumer en trois points principaux : l'hérédité, les variations aléatoires et l'environnement hostile.

L'œuvre *Génération terrestre* est également inspirée par ces trois points. Nous avons déjà vu comment le génotype était transmis de génération en génération par un algorithme bien défini. Ce dernier répond donc aux deux premiers critères qui sont l'hérédité et les variations aléatoires. Cependant, il ne tient pas compte de l'environnement hostile. Afin de comprendre et d'analyser le fonctionnement de ce

troisième critère, nous allons revenir sur les recherches de Karl Sims et ses créatures virtuelles<sup>16</sup>.

Dans ses travaux, Karl Sims a simulé l'évolution darwinienne à l'aide de créatures virtuelles. Il a d'abord créé une population de quelques centaines d'individus possédant la capacité d'effectuer des tâches données, comme nager, sauter ou marcher, tout cela avec l'objectif de se déplacer le plus loin possible. Après avoir testé toutes les créatures, il sélectionne les plus rapides. Ensuite, il mélange les caractéristiques de celles-ci en y ajoutant quelques mutations et réitère quelques fois ce processus. Au bout d'un certain temps, des déplacements de plus en plus rapides et complexes ont émergé, créant des morphologies fascinantes.

Il y a certaines divergences en ce qui concerne le processus de sélection naturelle entre *Génération terrestre* et *Evolved Virtual Creatures*. Pour cette dernière, comme c'est une « simulation », il n'y a pas d'interaction entre les individus. On teste et analyse leurs résultats individuellement en fonction d'un objectif donné. Cet objectif en question diffère également entre les deux œuvres. Une créature de Karl Sims a pour but de se déplacer le plus loin possible, seules les meilleurs sont sélectionnés et « survivent ». Dans *Génération terrestre*, les créatures interagissent entre elles avec l'objectif de se rencontrer le plus possible afin de se reproduire. Comme nous l'avons souligné auparavant, avec la théorie de l'évolution de Darwin, c'est la qualité de la descendance qui entraîne la pérennité d'une espèce. Cet objectif dépend de la durée de vie de la créature en question. Cette durée va différer en fonction des gènes d'un individu. Un individu capable de se nourrir vivra plus longtemps, qu'il mange un autre individu ou un produit généré par l'environnement. La durée de vie moyenne d'une espèce peut varier également en fonction de l'endroit où elle se trouve (altitude, proximité de l'eau, etc.). Il existe aussi un autre facteur que sa capacité à survivre qui

---

<sup>16</sup> Une vidéo de ses travaux se trouve à l'adresse suivante : [http://www.youtube.com/watch?v=JBgG\\_VSP7f8](http://www.youtube.com/watch?v=JBgG_VSP7f8).

détermine son taux de reproduction. Ce facteur est ce que l'on pourrait appeler la « compatibilité de reproduction ». À chacune des interactions entre les créatures, un algorithme calcule le pourcentage de ressemblance de leurs gènes. Si ce pourcentage est inférieur à celui déterminé par l'artiste, la reproduction est alors impossible.

Ce processus de sélection naturelle demande à l'artiste-programmeur une certaine patience afin de trouver un équilibre dans l'élaboration de ses créatures. Dans un ouvrage intitulé « La vie artificielle », Julio Fernández Ostolaza et Alvaro Moreno Bergareche nous expliquent que les différents résultats pouvant être obtenus avec des mondes artificiels sont liés aux stratégies évolutivement stables, c'est-à-dire aux différents scénarios de survie (Bergareche, 1997, p. 77 - 78). Les auteurs qui ont étudié le logiciel *MbitiWorld*, un monde virtuel abstrait créé par un groupe de travail de l'Université de Grenade (UGR), ont relevé différents types de résultats. Certains de ces résultats sont d'ailleurs apparus dans *Génération terrestre*, comme l'explosion démographique, l'extinction ou encore la supériorité manifeste d'un génotype/phénotype par rapport à d'autres. Cependant, la théorie est trop complexe pour pouvoir affirmer atteindre un « écosystème évolutif contrôlable ». Dans une œuvre à durée indéterminée comme *Génération terrestre*, nous cherchons avant tout la durabilité. Cela n'empêche pas certaines espèces de fluctuer ou de perdurer, mais le monde créé doit rester stable. Le principe de variation permet aux individus de naître, d'évoluer puis de mourir, et il peut être pertinent de comparer ce système à une balance. Si une catégorie disparaît, elle doit être remplacée par une ou plusieurs autres afin de rétablir l'équilibre, et si une nouvelle catégorie apparaît, il est possible qu'elle prenne la place d'une autre, déjà existante.

C'est après une multitude de tentatives et quand l'artiste trouve les paramètres optimaux de son système que l'œuvre peut aller dans le sens souhaité.

## CHAPITRE IV

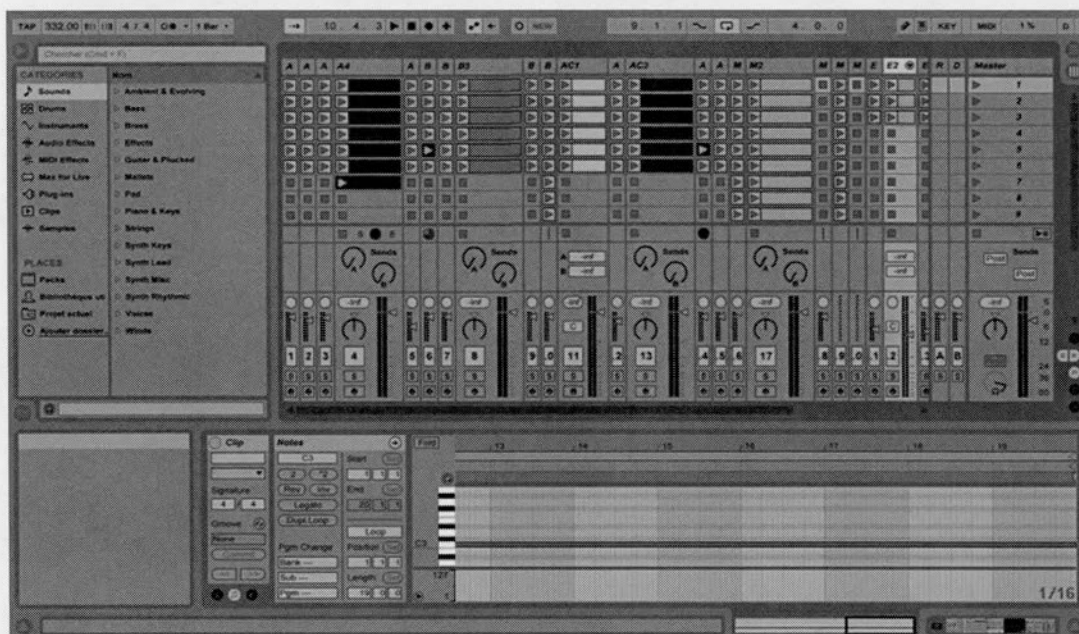
### LE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE DERRIÈRE L'OEUVRE

Cette dernière partie est consacrée à la réalisation de l'œuvre d'un point de vue plus technique. Elle met l'accent sur les logiciels utilisés, les différentes stratégies de codage ainsi que les moyens de diffusion.

#### 4.1 *Live*

L'essentiel du code ainsi que le visuel sont produits dans *Processing*. Cependant, c'est grâce à *Live* que le son est généré. En effet, grâce aux bibliothèques de *Processing* abordées précédemment, la communication entre les deux logiciels devient possible. Celle-ci se fait par des messages déclenchés à un instant précis et ayant la forme suivante : `OscMessage(« /live/play/clipslot »)`. Ces messages sont en fait des opérations que doit effectuer *Live*. C'est *Processing* qui déclenche les séquences musicales, qui modifie les paramètres des instruments ainsi que les paramètres globaux de *Live*. Une composition type a donc été définie à l'intérieur du logiciel.

**Figure 4.1** Interface de *Live* lors de la composition de génération terrestre



Cette composition est constituée de 20 pistes d'instruments différents (basses, accords, accompagnements et mélodies) ainsi que de 4 pistes d'effets. Chaque piste est composée de 3 à 21 séquences. Les séquences d'une piste vont correspondre soit à un accord, soit à une seule note.

Ce système autonome et complet va permettre aux spectateurs de découvrir l'œuvre pendant un certain temps sans qu'ils ne perçoivent de répétition auditive. De plus, une bonne association des séquences musicales ainsi qu'un réglage précis des paramètres sonores vont rendre l'écoute agréable.



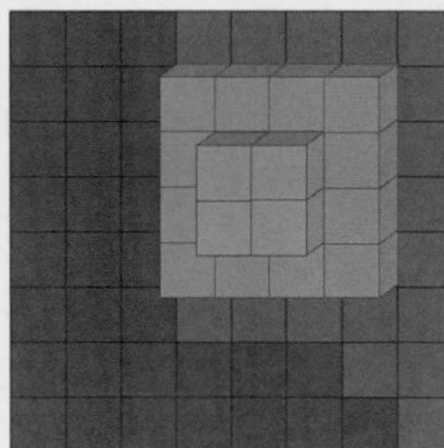
## 4.2 La sphère

La sphère est étroitement liée à un double tableau d'information. Chaque case de ce tableau correspond à un visuel présent sur la scène. Les cases du tableau sont établies initialement à la valeur 0. Le chiffre va ensuite augmenter ou diminuer en fonction des cases voisines ou de la musique générée. Les modifications du tableau vont entraîner des changements visuels. Ainsi, les valeurs entre 1 et 100 sont traduites visuellement par l'altitude relative du cube sur la sphère. Ensuite, à chaque centaine positive ou négative s'associe un élément. Par exemple, de -99 à 0 de l'eau apparaît, de 101 à 200 c'est un certain type de végétation, etc. Le chiffre des centaines correspond au type d'élément, et les autres déterminent son altitude relative.

**Figure 4.2** Schématisation de la transcription des données en visuel

0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	5	5	5	5	1
0	0	0	5	10	10	5	1
0	0	0	5	10	10	5	1
0	0	0	5	5	5	5	1
0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1

tableau de données

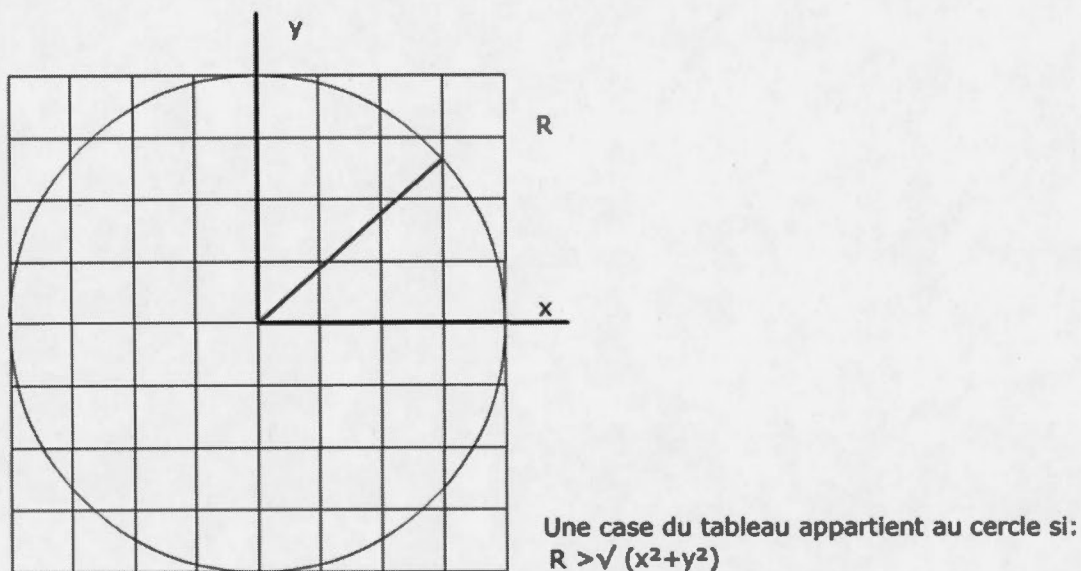


représentation sur la sphère

Bien qu'il aurait sans doute été plus aisé d'appliquer ce tableau à un cube, c'est une sphère qui fut choisie au départ. La sphère a été codée de deux façons différentes. Dans un premier temps, nous avons imaginé que l'on aplatissait le double tableau de

données (évoqué en 2.3) sur un cercle en deux dimensions. En résultait que les valeurs à l'extérieur du cercle étaient exclues.

**Figure 4.3** Application du tableau de données sur la sphère : méthode n°1

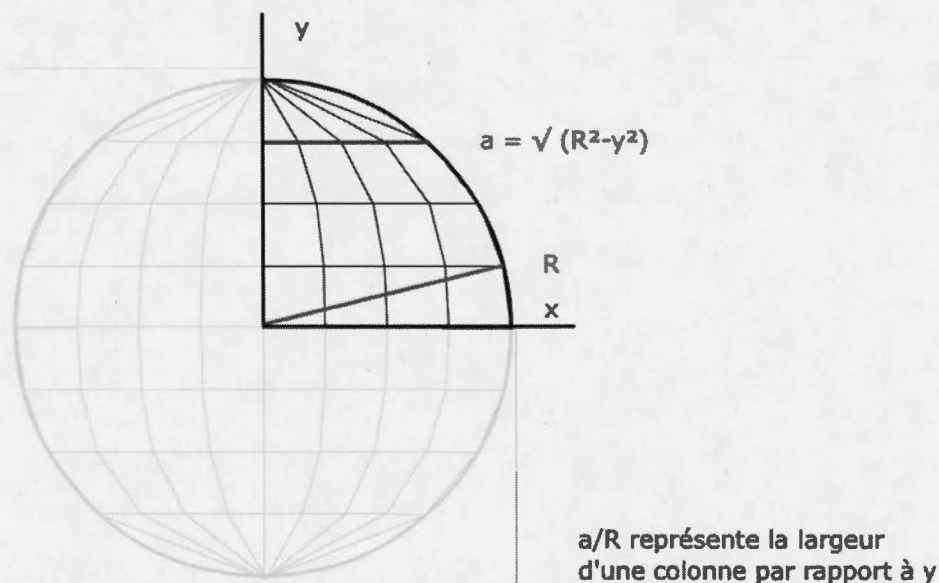


Pour passer en trois dimensions, une valeur  $z$  en fonction de  $x$  et  $y$  a été ajoutée afin de donner au cercle de la profondeur, et ainsi obtenir la forme sphérique.

Après une rencontre pour mon projet de mémoire, nous avons décidé qu'il serait intéressant de pouvoir se déplacer autour de la sphère. Ainsi, finalement, l'interactivité qui avait été enlevée plus tôt est revenue. Celle-ci reste cependant assez limitée, l'utilisateur pouvant uniquement faire pivoter la sphère, l'agrandir ou la rétrécir. Ces nouvelles fonctionnalités, qui me paraissaient aisément réalisables lors de mon entrevue devant le jury, se sont avérées plus complexes que prévu à programmer. En effet, en codant les fonctions de rotation, je me suis aperçu que la stratégie de codage ne fonctionnait pas pour une sphère complète. Cet « aplatissement » du tableau de données n'était pas applicable dans la nouvelle configuration. J'ai alors été contraint de modifier totalement la logique de génération. J'ai décidé de me tourner vers une logique « méridiens » et « équateur et ses

parallèles ». Tous les éléments du double tableau sont désormais présents sur la sphère. Chaque colonne d'information représente un méridien. Les cubes sont donc plus concentrés au niveau des pôles, et leurs dimensions diffèrent également.

**Figure 4.4** Application du tableau de données sur la sphère : méthode n °2



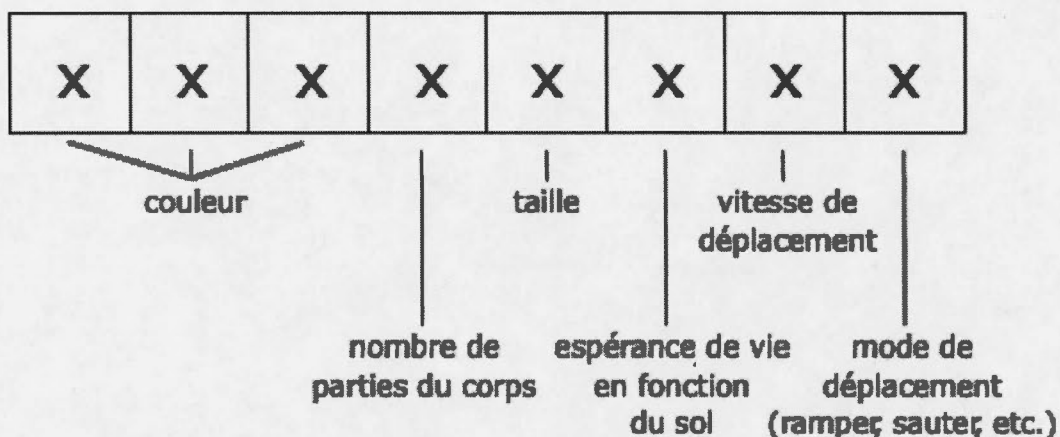
Cette technique, qui peut faire tourner toute la sphère, va permettre aux spectateurs de découvrir la « face cachée » de l'œuvre. Il est d'ailleurs possible de découvrir celle-ci de deux façons. Soit en activant les mécanismes de pivot, soit en attendant que la sphère ait effectué une rotation sur elle-même. Cela peut cependant prendre un certain temps, puisqu'il lui faut 2 heures pour effectuer un tour complet.

#### 4.3 L'évolution de la faune

L'évolution étant le moteur de l'œuvre, il est important d'expliquer en détail les différentes stratégies de codage qui permettent de structurer l'aspect évolutif. Nous

avons vu dans le chapitre précédent que chaque représentation d'un individu (phénotype) était liée à un tableau d'information distinct.

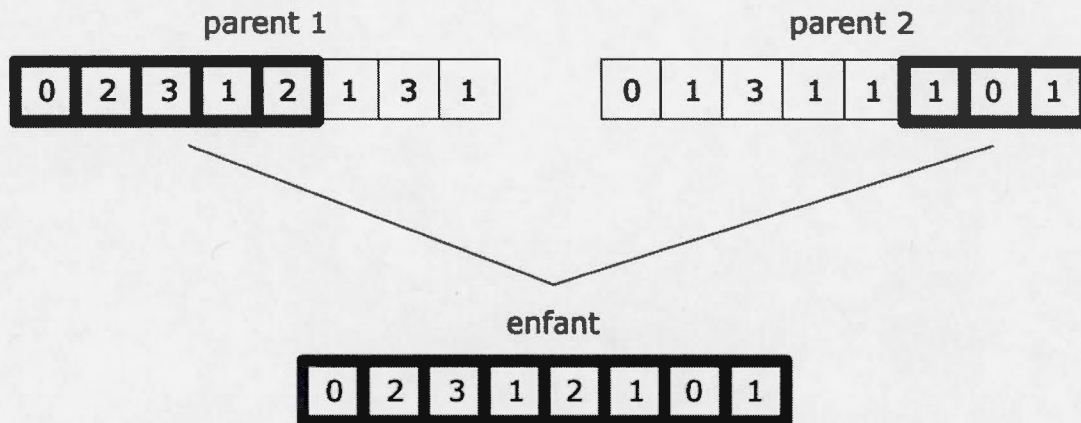
**Figure 4.5** Schématisation du génotype d'un individu



Rappelons que l'évolution dans l'œuvre se produit par la sélection naturelle, et que celle-ci est réalisable grâce à l'hérédité, la variation et la sélection.

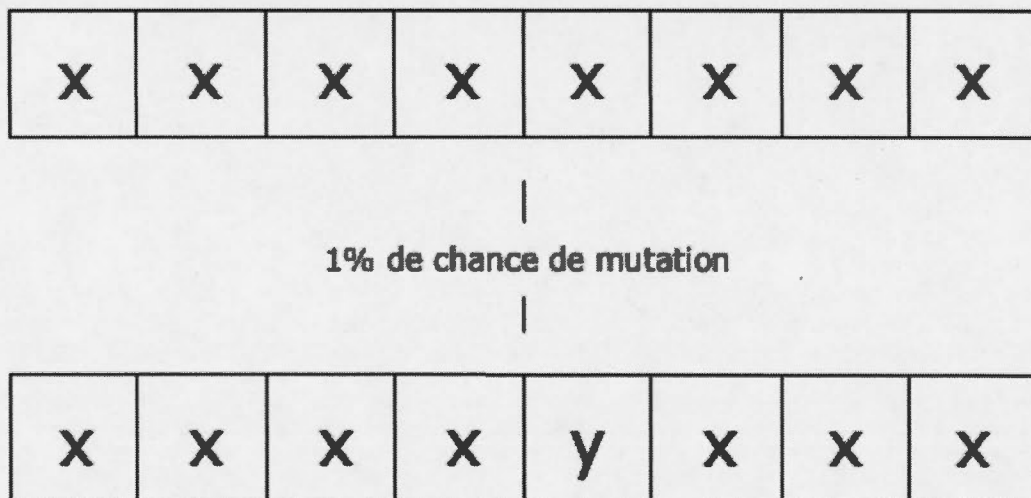
Chaque individu naît de deux parents ayant des ADN similaires (cela sera expliqué en détail dans la partie « sélection ») qui vont lui transmettre des informations. Chaque nouveau-né hérite des informations de ses parents par un algorithme que Daniel Shiffman appelle le « 50/50 » (Shiffman, 2012, p. 400). C'est-à-dire qu'il obtient la première moitié du tableau d'information de son « parent numéro 1 » et la deuxième moitié de son « parent numéro 2 ». Cependant, comme on l'aborde dans le livre « The Nature of Code », afin d'augmenter les possibilités de génération, nous choisissons un milieu aléatoire.

**Figure 4.6** Schématisation de la transmission des informations entre individus



Nos créatures terrestres sont toutes identiques au lancement de l'œuvre. Néanmoins, une mutation peut apparaître dans une génération. Dans l'algorithme, chaque nouvel individu a 1 % de chance qu'une des cases de son tableau d'information évolue après que la transmission par ses parents ait été effectuée. La fonction de mutation est simple. Elle va choisir aléatoirement un caractère d'information de l'individu et un chiffre entre 0 et 3 inclus, différent de celui qu'il possède déjà.

**Figure 4.7** Schématisation d'une mutation chez un individu





Enfin, la sélection se fait grâce à plusieurs règles :

- Naissance : si les informations de 2 individus sont similaires à plus de 90 %, ils peuvent se reproduire;
- Surpopulation locale : s'il y a plus de 5 individus dans une zone sphérique de 5 pixels, les nouveaux arrivants décèdent. Ceci permet de limiter le nombre de naissances lorsque deux parents « stagnent » dans la même région;
- Loi du plus fort : si un individu est plus âgé qu'un autre, que son « information de prédominance » est supérieure et que son ADN diffère de plus de 40 %, il le mange. Ainsi, le plus fort voit sa durée de vie augmenter, et le plus faible disparaît.

De plus, une règle globale sur l'âge maximum des individus permet de contrôler leur nombre :  $\text{age\_max} = \text{taille\_planète} * 5 / \text{nombre\_individus}$ .

Après une période d'essais, telle est la stratégie de codage que j'ai finalement adoptée afin d'obtenir un équilibre dans mon écosystème et contrôler mon œuvre. Ce code permet à la sphère d'évoluer durant une période indéterminée sans pour autant laisser une trop grande place au « chaos ». La rigueur qu'imposent les règles de ce système complexe restreint la confusion et la désorganisation. Le système laisse également l'œuvre s'exprimer de façon claire afin que le spectateur puisse bien percevoir la volonté de l'artiste.

#### 4.4 Support de diffusion et installation

Mon œuvre sera disposée sur un écran plat. La taille de ce dernier doit être supérieure à 11 pouces afin que le spectateur puisse identifier les individus présents sur cette planète. Le visuel est programmé à partir d'éléments vectoriels. C'est-à-dire qu'ils sont composés d'objets géométriques et pas de pixels. Sans rentrer dans les détails, ceci implique que, quelle que soit leur taille, notre programme va recalculer leurs coordonnées en fonction de l'échelle de grandeur demandée. Ainsi peu importe la dimension de leur représentation, le tracé de celle-ci restera précis. Le format maximal de l'écran va donc dépendre de la distance de recul disponible dans la pièce où se déroulera l'œuvre. Plus celle-ci sera vaste, plus la taille du visuel pourra être conséquente. Comme Génération terrestre est une sphère placée au centre d'un écran il serait idéal que la résolution de ce dernier soit de 1 :1. C'est-à-dire que sa hauteur est égale à sa largeur. Néanmoins, l'œuvre peut s'adapter à différentes résolutions. Cela est dû au fait qu'il est défini dans l'algorithme que tout ce qui entoure la planète est noir afin que le spectateur se focalise sur l'essentiel de l'œuvre. Ce noir donnant une impression d'obscurité totale sera renforcé par la très faible luminosité de la pièce. Dans un premier temps, le regard sera plus concentré sur l'écosystème artificiel. Dans un deuxième, ceci donnera l'impression que l'obscurité s'étend en dehors de l'écran, est présente tout autour du public et le plonge dans l'œuvre. Cette sensation d'immersion sera renforcée par deux haut-parleurs disposés de part et d'autre de l'écran. Bien que la participation du spectateur ne soit pas requise pour la génération de l'œuvre, quatre boutons seront à sa disposition pour permettre à la planète d'être manipulable par un tiers. Ceci va permettre à l'utilisateur d'effectuer un zoom sur ce monde artificiel ou une rotation. Ce dispositif est relié à un boîtier dans lequel seront lancés les nombreux algorithmes qui génèrent l'œuvre.

## CONCLUSION

L'objectif de ce projet était de déterminer comment concevoir une œuvre d'art ayant la capacité de se générer elle-même. Cela était étroitement lié à ce besoin récurrent d'automatiser des processus informatiques, et à mon propre épanouissement artistique, musical et visuel. L'idée de l'œuvre m'est venue lors d'un cours universitaire, quand j'ai découvert les systèmes génératifs et la possibilité de générer une œuvre à l'infini, sans intervention de l'artiste. Mes recherches sur les systèmes autonomes m'ont orienté vers l'intelligence artificielle ainsi que les simulations d'écosystèmes. C'est réellement à partir de cet instant que le projet a pris tout son sens, et que j'ai entamé la majorité de mes recherches sur les différents processus d'évolution.

*Génération terrestre* est une œuvre qui crée du son et le traduit visuellement. Représentée sous la forme d'un écosystème autonome, la création est basée sur un système complexe. La musique et l'image sont générées à l'aide d'une multitude d'algorithmes informatiques. Une forme de vie inspirée par les différentes théories de l'évolution se crée à l'intérieur de ce nouveau monde au fil du temps. De nombreux processus comme l'aléatoire, le chaos et la vie artificielle permettent à l'artiste d'obtenir des résultats inattendus et lui fournissent de nouveaux concepts qui contribuent à augmenter sa créativité. Un système complexe permet au spectateur d'assister à une multitude de phénomènes imprévisibles. Ils sont possibles grâce aux règles fixées par le créateur. Bien qu'il ne soit pas possible à ce jour de simuler un système d'êtres vivants complet, nous pouvons cependant reproduire les actions les plus simples, comme l'autoreproduction ainsi que quelques autres fonctions, peu spécifiques. D'où l'intérêt de *Génération terrestre*. Avec des règles toutes simples,

nous pouvons faire émerger des structures qui se rapprochent du monde biologique réel. C'est aussi un accomplissement personnel considérable d'arriver à travers l'art à automatiser et simuler des concepts influençant la vie et l'évolution d'individus.

En dehors de l'aspect personnel, le but de ce projet est également de pouvoir immerger le spectateur dans un nouveau monde grâce au son et à l'image. L'esthétique synthétique de l'œuvre est telle que la personne qui la contemple ne peut qu'être captivée par l'évolution de cet écosystème. Le fond musical n'étant pas omniprésent, mais relié d'une façon subtile au visuel, il n'attire pas l'attention du spectateur et accentue son immersion dans cet univers informatique. Le choix visuel de faire ressortir les individus attire également le regard et incite le public à explorer la sphère davantage.

Tout au long de ce mémoire-crédation, je suis passé par différentes remises en question. Il y avait des périodes où je développais des algorithmes sans être certain de savoir à quoi ils allaient servir, mais j'étais tout de même persuadé que cela ferait avancer ma création, d'une façon ou d'une autre. J'ai aussi exploré de nombreuses œuvres visuelles, notamment sur Internet. Je tentais alors de les reproduire, mais je m'éloignais ainsi du principe d'évolution. Toutes ces dérivations ont bien sûr entraîné des doutes et de la démotivation. Dans ces cas-là, il faut souvent prendre du recul. C'est ce que je faisais, en m'éloignant du codage pour me concentrer davantage sur la théorie, par exemple. En recentrant mes idées, en ayant une approche plus théorique de l'art ou en explorant des concepts qui m'étaient jusque-là inconnus.

Ces réflexions personnelles ont déclenché aussi des réflexions sur les technologies utilisées. Je ne considère pas ces questionnements comme quelque chose de négatif. À l'UQAM, j'ai eu la chance de travailler dans les trois domaines qui me passionnent, à savoir la musique, le graphisme et l'informatique. Grâce à ce projet, j'ai agrandi mon champ d'expertise, j'ai pu travailler sur différentes plateformes et explorer une multitude de logiciels. D'ailleurs, ma plus grande avancée est la

découverte de la relation entre *Processing* et *Live*. J'ai réalisé qu'il y avait un immense potentiel d'interaction entre ces deux logiciels. Tout cela, et bien d'autres choses que j'ai pu explorer pour ce projet de mémoire vont me servir assurément dans mon parcours artistique. En fait, ce sont tous les défis théoriques, techniques et technologiques qui m'ont permis de réaliser l'œuvre que je possède aujourd'hui.

Dans le futur, je compte poursuivre mes explorations sur les principes de *Génération terrestre*, mais en séparant le son et l'image. Dans un premier temps, je souhaite approfondir la composition musicale générée par ordinateur. Cela implique toujours une interaction entre les deux logiciels cités précédemment. Je vais pouvoir me concentrer sur la gestion des messages qu'ils se transmettent, et aussi améliorer mon automate et sa logique de déclenchement d'événements sonores. Dans un deuxième temps, je vais également continuer mes recherches sur l'intelligence artificielle en mettant davantage en pratique les travaux passionnants de Karl Sims. Il est également très probable que je migre vers une nouvelle technologie sur laquelle je travaille depuis quelque temps nommée *Unity*<sup>17</sup>. Mon expérience me permet d'affirmer que l'œuvre en bénéficiera en ce qui concerne la performance et l'esthétisme. Toutefois, avant de me lancer dans un nouveau chantier de taille, je dois tester les différentes possibilités de liaisons entre *Unity*, *Processing* et *Live*. En effet, bien que j'aie choisi de séparer le son du visuel, il n'est pas improbable que je décide de les rebrancher ensemble, et ainsi créer *Génération terrestre 2.0*.

---

<sup>17</sup> Logiciel 3D temps réel et multimédia.



## WEBOGRAPHIE

Antoine Schmitt. 2014, de [http://fr.wikipedia.org/wiki/Antoine\\_Schmitt](http://fr.wikipedia.org/wiki/Antoine_Schmitt)

Art génératif. 2013, de [https://fr.wikipedia.org/wiki/Art\\_génératif](https://fr.wikipedia.org/wiki/Art_g%C3%A9n%C3%A9ratif)

Génotype. 2015, de [http://fr.wikipedia.org/wiki/Génotype](http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9notype)

Langage de script. 2014, de [http://fr.wikipedia.org/wiki/Langage de script](http://fr.wikipedia.org/wiki/Langage_de_script)

Phénotype. 2015, de <http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9notype>

Richard Dawkins. 2015, de [http://fr.wikipedia.org/wiki/Richard Dawkins](http://fr.wikipedia.org/wiki/Richard_Dawkins)

Taylor, T. Exploring the Concept of Open-Ended Evolution. Retrieved avril, 2014, de [https://academia.edu/1875821/Exploring the Concept of Open-Ended Evolution](https://academia.edu/1875821/Exploring_the_Concept_of_Open-Ended_Evolution)

## BIBLIOGRAPHIE

- Andrew, I. (2011). *Cellular Automata : A Discrete Universe*. : World Scientific.
- Bergareche, J. F. O. A. M. (1997). *La vie artificielle* : Paris : Seuil.
- Buffon, G.-L. L., Comte de. (1828). *Oeuvres complètes de Buffon, suivies de ses continuateurs Daubenton, Lacépède, Cuvier, Duméril, Poiret, Lesson et Geoffroy-St-Hilaire : Mammifères* : Th. Lejeune.
- Buican, D. (1989). *L'évolution et les évolutionnismes*: Paris : Presses universitaires de France.
- Chailley, J. (1977). *Traité historique d'analyse harmonique* : Paris : Leduc.
- Darwin, C. (1992) *L'origine des espèces*: Paris : Flammarion.
- Facts. (25 septembre 1997). Et si les informaticiens découvraient la vie ? *Courrier International* No 360.
- François Coadou, S. L., Olivier Maillart. (2012). *La culture c'est la règle, l'art c'est l'exception*.
- Gribbin, J. (2006). *Simplicité profonde : Le chaos, la complexité et l'émergence de la vie*: Paris: Flammarion.
- Hoquet, T. (2007). *BUFFON / LINNÉ Éternels rivaux de la biologie ?* : Paris: Dunod.
- Langton, C. (1984). Self-Reproduction in Cellular Automata. *Physica 10D*.
- Martin, G. (1970). « Mathematical games, The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life" ». *Scientific American*.
- McGuire, K. (décembre, 2007). Theory of Complexity 10th International conference Generative Art, Milan.

Road, C. (2007). *L'audio numérique Musique et informatique 2e édition*: Paris: Dunod.

Shiffman, D. (2012). The nature of code.

Sims, K. (1994). Evolving Virtual Creatures. *Computer Graphics, Annual Conference Series, (SIGGRAPH '94 Proceedings)*.

Varela, F. (1988). *Autonomie et connaissance*: Paris: Seuil.

Weber, W. (2008). *The Great Transformation of Musical Taste: Concert Programming from Haydn to Brahms*. : Cambridge University Press.